

CAMBIO TECNOLÓGICO Y EFICIENCIA ECONÓMICA EN LA GESTIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS ESPAÑOLAS (*)

Ramón NÚÑEZ-SÁNCHEZ

Pablo COTO-MILLÁN

Miguel Ángel PESQUERA

Universidad de Cantabria

Resumen

En esta investigación se analiza el cambio tecnológico y la eficiencia económica en la gestión de las infraestructuras portuarias de interés general españolas durante el período 1986-2005. A partir de la estimación econométrica de la función de costes totales de las autoridades portuarias españolas se obtienen las elasticidades coste-producto para cada mercancía, así como las participaciones en los gastos de los distintos factores. Por otra parte, se demuestra la existencia de economías de densidad, un proceso de cambio tecnológico positivo y un alto nivel de eficiencia económica.

Palabras clave: cambio tecnológico, costes, eficiencia económica, elasticidades coste-producto.

Abstract

In this work we calculate technical change and economic efficiency for the management of Spanish port infrastructure during the period 1986-2005. From the econometric estimation of a total cost function for the Spanish port authorities, we obtain cost elasticities with respect to the different outputs as well as shares of the different inputs in total costs. On the other hand, we demonstrate the existence of density economies, a positive technical change process and finally, a high level of economic efficiency.

Keywords: technical change, costs, economic efficiency, cost-output elasticities.

JEL classification: O33.

I. INTRODUCCIÓN

EL modelo de gestión portuario seguido en España en la época de los Reyes Católicos y con anterioridad estuvo regido por las corporaciones locales. La titularidad de los puertos tenía carácter local y eran los ayuntamientos los que se hacían cargo de los proyectos de las nuevas obras e instalaciones. El Estado se limitaba a regular la navegación en los puertos, dada la importancia militar estratégica de los mismos y su escaso tráfico comercial.

En el Real Decreto del 17 de diciembre de 1851 se recoge, al parecer por primera vez en nuestra historia, la titularidad estatal de algunos puertos españoles dependientes del entonces Ministerio de Fomento. En este Real Decreto se clasifican los puertos españoles en categorías que, en su mayor parte, se han mantenido hasta nuestros días. La clasificación establecía dos categorías de puertos: «puertos de interés general» y «puertos de interés local». Este mismo criterio regulador llega hasta la Constitución de 1978 (art. 149), y se desarrolla bajo las posteriores leyes y normas que han regulado el sector portuario hasta la incorporación de España a la Comunidad Económica Europea en 1986. Con anterioridad a esta fecha, el 30 de enero de 1985, se creó una Comisión Interministerial para el Estudio y la Reforma de los Órganos de la Administración del

Estado competentes en materia de actividades marítimas (COMINMAR). Esta comisión aconsejó en sus dictámenes que los puertos debían estar dotados de una organización que operase con criterios de flexibilidad empresariales, liberada de la rigidez administrativa. Además, la comisión añadió dos principios básicos que deberían regir en la gestión de los puertos. Primero, el principio de «eficacia del servicio y rentabilidad razonable de su explotación». Segundo, el principio de «amplia capacidad de gestión de cada organismo portuario», pero dentro de la globalidad de la planificación de las inversiones y de la explotación del sistema constituido por todos los puertos de interés general.

Con posterioridad a estas recomendaciones de COMINMAR, se aprobó en el Parlamento Europeo la resolución sobre política portuaria de 16 de noviembre de 1988, que recomendaba la autonomía de la gestión portuaria, la competitividad entre puertos marítimos y la cobertura de costes por transferencia de los mismos a los usuarios.

La siguiente reforma normativa es la que surge de la Ley 27/1992 de 24 de noviembre de Puertos del Estado y de la Marina Mercante. En esta ley, la nueva denominación del órgano director del puerto pasa a ser el de autoridad portuaria, término muy empleado en el ámbito internacional para los entes

encargados de gestionar los puertos, con independencia de a quién corresponda la titularidad de los mismos y de su naturaleza jurídica.

El modelo de gestión portuario de la Ley 27/1992 se orienta hacia una mayor autonomía en la gestión y mejoras en los servicios portuarios prestados. Las expresiones «eficacia y rentabilidad en la gestión» se repiten reiteradamente a lo largo del texto de esta ley.

Con la finalidad de otorgar mayor autonomía a cada autoridad portuaria se aprueba la Ley 62/1997 de 26 de diciembre, de modificación de la Ley 27/1992. En esta nueva reforma se aprueba la libertad tarifaria y se aumenta la participación de las comunidades autónomas en los consejos de administración y el nombramiento del presidente de las autoridades portuarias.

Como continuación de la anterior ley se aprueba la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de Régimen Económico y Prestación de Servicios de los Puertos de Interés General. Esta ley modifica a la anterior, pero sin derogarla completamente. Constituye un paso adicional hacia la dotación de las autoridades portuarias de instrumentos para mejorar la eficacia de los puertos. Esta ley adapta el sistema tarifario portuario a la obligada naturaleza de tasas, avanza en la liberalización de los servicios portuarios e incorpora una completa regulación del dominio público portuario para potenciar la participación privada. La ley, de nuevo, utiliza reiteradamente la palabra «eficacia», para lo cual considera necesaria una mayor implicación de la iniciativa privada, en interacción con la pública, que genere mayor competencia interportuaria tanto a nivel nacional como internacional, así como la competencia intraportuaria entre los distintos prestadores de servicios en un mismo puerto.

Finalmente, como es conocido, se ha aprobado la Ley de Puertos 33/2010 de modificación de la Ley 48/2003. En esta última ley los principios y objetivos del régimen económico son la autofinanciación del sistema portuario, con un rendimiento razonable sobre el activo no corriente neto medio del ejercicio, excluyendo el inmovilizado en curso, los activos imputados diferidos y los deudores comerciales no corrientes, que permita hacer frente a las necesidades de las nuevas inversiones y a la devolución de los empréstitos emitidos y de los préstamos recibidos.

Expuestos los antecedentes históricos y legislativos sobre la gestión de los puertos en España se

procederá a continuación del siguiente modo. En el apartado II se realizará una somera revisión de literatura de las funciones de producción y costes aplicadas a los puertos. En el apartado III se presentará la especificación empírica que permitirá estimar diferentes hipótesis. En el apartado IV se explicarán cuáles son las fuentes de los datos y cuál es la correspondencia entre éstos y las variables de la especificación empírica. En el apartado V se ofrecen los resultados. Por último, en el apartado VI se resumen las principales conclusiones de esta investigación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Los estudios de productividad y la metodología del análisis de eficiencia proporcionan evidencia sobre la eficiencia y la productividad de un puerto respecto al resto. Vamos a comenzar por el concepto de productividad, que establece la relación existente entre los *outputs* obtenidos y los *inputs* empleados en la obtención de los anteriores. El estudio de las relaciones *input-output* y sus diferencias entre puertos constituye, obviamente, un buen enfoque para determinar las ventajas competitivas. Para abordar esta cuestión se puede llevar a cabo una medición de la productividad parcial, que considera los cambios en el *output* cuando varía sólo uno de los *inputs*. No obstante, es sabido que la productividad de un factor depende también del resto de los *inputs*. Por esta razón se ha generalizado el uso del concepto de productividad total de los factores (PTF), que refleja el cambio del volumen de *output* asociado a cambios en todos los *inputs*. A su vez, existen diferentes aproximaciones empíricas a la medición de esta PTF (paramétricas y no paramétricas). Aproximaciones que conducen también a diferentes interpretaciones y resultados empíricos.

En el caso concreto de los puertos, considerados como productores de varios *outputs* (mercancía general, graneles sólidos, graneles líquidos, contenedores y pasajeros), la forma funcional que se suele seleccionar para los costes es la trascendental logarítmica (*translog*), que no es más que una forma funcional cuadrática correspondiente a un desarrollo en serie de Taylor de segundo orden de la función de costes del puerto. De los estimadores de esta función se deducen directamente las elasticidades coste-producto, lo que permite el cálculo de las economías de densidad, suponiendo la existencia de algún factor productivo cuasi fijo. Este tipo de análisis ha sido desarrollado para los puertos espa-

ñoles en diferentes estudios como se puede ver en la revisión de González y Trujillo (2009).

Desde la perspectiva de la eficiencia, la definición básica de la función de producción radica en que ésta proporciona la máxima cantidad de producto que es posible obtener para cada vector de cantidades aplicadas de los factores productivos o *inputs*. La característica básica de esta función de producción portuaria es la optimalidad, es decir, que especifica el máximo valor de la función que puede ser alcanzado bajo ciertas condiciones impuestas por la tecnología. Por tanto, describe un límite o frontera y así se puede hablar de la frontera de producción.

Las medidas de eficiencia de los puertos se obtienen comparando los valores observados para cada unidad productiva con el óptimo definido por la frontera estimada. En la literatura a esta función se le llama, como acabamos de señalar, «función frontera», puesto que caracteriza el comportamiento optimizador de un productor eficiente y, por tanto, marca los límites de los posibles valores de su respectiva variable dependiente, la producción.

A este respecto es conveniente apuntar que, cuando existen grandes disparidades en el tamaño

de las unidades de producción, hecho que como se ha comprobado en varios estudios sucede en los puertos españoles (González y Trujillo, 2009), es conveniente comparar cada unidad con otras similares en escala de producción, ya que la diferencia de magnitud de la ineficiencia entre unidades puede ser debida a la escala.

La literatura sobre competencia en puertos más genuinamente económica utiliza el enfoque de productividad y eficiencia, medidas ambas a través de las fronteras de las funciones de producción y costes (Baños-Pino *et al.*, 1999; Coto-Millán *et al.*, 2000). Las investigaciones sobre el tema introducen la función de producción y la función de costes, para valorar la magnitud de eficiencia técnica, de asignación y económica. Se parte de que cuanto más eficiente sea un puerto más competitivo será, dado que los *outputs*, los *inputs* y la tecnología son esencialmente los mismos en los distintos puertos. Esto es, los *outputs* que suelen ser utilizados son las toneladas, bien se trate de las toneladas totales movidas (un solo *output*) o bien de las toneladas de graneles sólidos, graneles líquidos, mercancía general, contenedores y el número de pasajeros (varios *outputs*). La incorporación de los pasajeros ha sido muy reciente y con buenos resultados, como se muestra

CUADRO N.º 1

INVESTIGACIONES SOBRE FUNCIONES DE PRODUCCIÓN Y COSTES PORTUARIAS

Autores	Especificación funcional (*)	Datos	Resultados	Rendimientos a escala
Chang (1978)	F.P. Cobb-Douglas	Serie temporal (1953-1973)	Productividades medias y marginales	Constantes
Kim y Sachis (1986)	F.C. translog	Serie temporal (1966-1983)	Elasticidades de las demandas de <i>inputs</i>	Crecientes
Rekres <i>et al.</i> (1990)	F.P. Cobb-Douglas	Datos panel (1984.1-1990.2)	Eficiencia por terminal-muelle de contenedores	Decrecientes
Tongzon (1993)	F.P. Cobb-Douglas	Datos panel (1984.1-1990.2)	Eficiencia por terminal-muelle de contenedores	Decrecientes
Martínez-Budría (1996)	F.C. Cobb-Douglas	Datos panel (1985-1989)	Elasticidades coste de los <i>inputs</i>	Crecientes
Jara-Díaz <i>et al.</i> (1997)	F.C. cuadrática	Datos panel (1985-1989)	Costes marginales y economías de diversidad	Crecientes
Martínez-Budría <i>et al.</i> (1998)	F.C. cuadrática	Datos panel (1990-1996)	Costes marginales, elasticidades costes y PTF	Crecientes
Coto-Millán <i>et al.</i> (2000)	F.P. translog	Datos panel (1986-1989)	Productividad y eficiencia técnica	Crecientes
Baños-Pino <i>et al.</i> (1999)	F.P. distancia	Datos panel (1986-1995)	Eficiencia asignativa y económica	Crecientes
Jara-Díaz <i>et al.</i> (2002)	F.C. cuadrática	Datos panel (1986-1995)	Costes marginales y economías de diversidad	Crecientes
Tovar (2002)	F.C. cuadrática	Pool de datos (1990-1999)	Costes marginales por terminal y economías de diversidad	Crecientes
Cullinane <i>et al.</i> (2002)	F.P.	Datos panel	Eficiencia de terminales de contenedores	Crecientes
Cullinane <i>et al.</i> (2006)	F.P.	Datos panel	Eficiencia técnica de puertos de contenedores	Crecientes
Díaz-Hernández <i>et al.</i> (2008)	F.P.	Datos panel	Eficiencia en las empresas estibadoras	Crecientes
Coto-Millán (2010)	F.P. translog	Datos panel (1986-2005)	Costes marginales, elasticidades y efecto Averch-Jonshon (1962)	Crecientes
Nuñez-Sánchez y Coto-Millán (2010)	Función distancia	Datos panel (1986-2005)	Productividades de los puertos	Crecientes
Nuñez-Sánchez <i>et al.</i> (2011)	F.C. translog	Datos panel (1986-2005)	Costes marginales, economías de diversidad y precios Ramsey	Crecientes
Hidalgo (2011)	Función distancia	Datos panel (1986-2007)	Eficiencia asignativa y elasticidades de sustitución de Morishima	Crecientes

(*) F.P. = Función de producción; F.C. = Función de costes.

Fuente: Elaboración propia.

en Núñez-Sánchez *et al.* (2011). Por otra parte, los factores de producción empleados suelen ser el número de empleados, los consumos intermedios y el inmovilizado neto afecto a la explotación. También en este último caso Núñez-Sánchez *et al.* (2011) e Hidalgo (2011) utilizan un *input* cuasi fijo del capital aproximado por la superficie portuaria del inmovilizado en metros cuadrados.

La eficiencia técnica proporciona una medida de cómo asigna los factores de producción un puerto para obtener una unidad de producto, de modo que si no asigna ningún *input* de forma redundante existirá eficiencia técnica óptima. La eficiencia en la asignación es una medida de cómo los puertos contratan y retribuyen a sus factores productivos. Si los pagos de *inputs* se realizan a los precios de mercado existirá eficiencia asignativa óptima y, en la medida en que se desvíen tales pagos por exceso o defecto, se tendrán ineficiencias asignativas. La eficiencia económica, o eficiencia en costes, se produce cuando se minimizan los costes, lo cual sucede cuando existe eficiencia técnica y eficiencia asignativa, por lo que se suele definir la eficiencia económica como el producto vectorial de las eficiencias técnica y asignativa.

Centrándonos ahora en la eficiencia económica cabe decir que aún las eficiencias técnica y asignativa, y su estudio se fundamenta en la estimación de una frontera de la función de costes que representa, en términos de datos observados, el coste mínimo de producir un nivel particular de *output*, dada la tecnología y los precios de los *inputs* de producción usados.

Un resumen de los principales trabajos sobre funciones de producción y costes que tratan de estudiar la productividad portuaria, estructura de costes, eficiencia técnica, económica y asignativa, y en definitiva la competitividad, con especial atención a los puertos españoles, se presenta en el cuadro número 1. En Martínez-Budría (1996) se encuentra uno de los primeros trabajos, si no el primero, que estima una función de costes para el sistema portuario español. En González y Trujillo (2009) puede consultarse una revisión de este tipo de literatura bastante completa, mientras que Kim y Sachis (1986) fueron autores pioneros en estimar una función de producción para los puertos con la finalidad de cuantificar el cambio técnico portuario.

III. ESPECIFICACIÓN ECONOMETRICA

Consideramos una función de costes totales multiproductiva bajo una tecnología de tipo transloga-

rítmica suponiendo la existencia de cambio tecnológico no neutral:

$$\begin{aligned} \ln CT_{it} = & \alpha_0 + \sum_{r=1}^M \beta_r \ln Q_{rit} + 1/2 \sum_{r=1}^M \sum_{s=1}^M \beta_{rs} \ln Q_{rit} \\ & \ln Q_{sit} + \sum_{j=1}^N \gamma_j \ln W_{jit} + 1/2 \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \gamma_{jk} \ln W_{jit} \ln W_{kit} + \\ & + \sum_{r=1}^M \sum_{j=1}^N \rho_{rj} \ln Q_{rit} \ln W_{jit} + \eta_f \ln F_{it} + 1/2 \eta_{ff} \ln F_{it}^2 + \\ & + \sum_{r=1}^M \sigma_r \ln F_{it} \ln Q_{rit} + \sum_{j=1}^N \kappa_j \ln F_{it} \ln W_{jit} + \sum_{l=1}^P D_l A_l + \\ & + \xi_a T_t + 1/2 \xi_{aa} T_t^2 + \sum_{r=1}^M \phi_r \ln Q_{rit} T_t + \sum_{j=1}^N \xi_j \ln W_{jit} T_t + \\ & + \tau \ln F_{it} T_t + u_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad [1]$$

donde:

CT_{it} son los costes totales de una autoridad portuaria i en el año t_i ;

Q_{rit} es la cantidad del *output* r de una autoridad portuaria i en un año t_i ;

W_{jit} es el precio del factor j de la autoridad portuaria i en un año t_i ;

F_{it} es el factor cuasi fijo de una autoridad portuaria i en un año t_i ;

A_l es una variable artificial que toma valor uno si la autoridad portuaria es l , y cero, en caso contrario;

T es una tendencia temporal, incluida para capturar la posible existencia de cambio tecnológico;

$\alpha_0, \beta_r, \beta_{rs}, \gamma_j, \gamma_{jk}, \rho_{rj}, \eta_f, \eta_{ff}, \sigma_r, \kappa_j, D_l, \xi_a, \xi_{aa}, \phi_r, \xi_j, \tau$ son parámetros que deben ser estimados;

Por último, u_{it} es un término de error no negativo que representa la ineficiencia económica de una autoridad portuaria i en un año t ; mientras que ε_{it} es el término de error estándar de una autoridad portuaria i en un año t .

Siguiendo el trabajo de Aigner *et al.* (1977), suponemos que ε_{it} sigue una distribución $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$, mientras que u_{it} está distribuida bajo una $|N(0, \sigma_u^2)|$. A partir de dicho término de error no negativo u_{it} es posible determinar una medida de ineficiencia en

costes para cada autoridad portuaria y año, a través de la relación $EC_{it} = \exp(-u_{it})$.

Este indicador puede interpretarse como el cociente entre el mínimo coste posible para dicha autoridad portuaria i en un año t y el coste observado. Por tanto, un valor igual a uno representaría una situación en la que la autoridad portuaria es económicamente eficiente al minimizar sus costes, mientras que valores menores que uno indicarían la existencia de ineficiencia económica (1).

Para que la función de costes esté correctamente especificada es necesario imponer las restricciones de homogeneidad de grado uno en los *inputs*:

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j = 1, \sum_{k=1}^N \gamma_{jk} = 0 \ (\forall k = 1, \dots, N), \sum_{j=1}^N \rho_{rj} = 0$$

$$(\forall r = 1, \dots, M), \sum_{j=1}^N \kappa_j = 0, \sum_{k=1}^N \xi_j = 0$$

También es necesario imponer las condiciones de simetría:

$$\beta_{rs} = \beta_{sr}, \gamma_{jk} = \gamma_{kj}, \rho_{rj} = \rho_{jr}$$

A partir de la estimación de la función frontera de costes es posible calcular el cambio tecnológico para cada autoridad portuaria y año, aplicando la siguiente expresión:

$$\frac{\partial \ln CT_{it}}{\partial T} = \xi_a + \xi_{aa} T_t + \sum_{s=1}^M \phi_r \ln Q_{sit} +$$

$$+ \sum_{j=1}^N \xi_j \ln W_{jit} + \tau \ln F_{it}$$

IV. DATOS

La base de datos se ha construido a partir de los informes económicos y las memorias de tráfico anuales de Puertos del Estado (varios años) y está compuesta por 26 autoridades portuarias (2), durante el período 1986-2005. Tal y como señalamos en el apartado anterior, para la estimación de la función de costes totales son necesarias variables relativas a los costes totales, precios de los *inputs*, *outputs*, así como alguna medida del *input* cuasi fijo.

Por lo que respecta a la variable costes totales (*TC*), se define como la suma de gastos en personal, los gastos de capital, así como los gastos en consumos intermedios. Dentro de los primeros se incluye la remuneración de los trabajadores de las autoridades portuarias, así como los pagos a la Seguridad Social. Las provisiones anuales para la amortización de los activos de las autoridades y la variación en las provisiones forman los gastos en capital. Por último, los gastos relativos a consumos intermedios agrupan gastos en electricidad, agua, fungible, así como subcontrataciones externas.

El precio del trabajo (W_L) se define como el gasto de personal dividido por el número de trabajadores que componen la plantilla. Por lo que respecta al precio del capital (W_K), se ha calculado como índice de precios del sector de la construcción, a partir de los datos suministrados por la Confederación Nacional de la Construcción (CNC), multiplicado por la suma de dos componentes: el tipo de interés real a largo plazo (R), y la tasa de depreciación de los activos de la autoridad portuaria (d). Por tanto, el precio del capital se puede expresar a partir de la si-

CUADRO N.º 2

DEFINICIÓN Y ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS VARIABLES

Variable	Definición	Fuente (*)	Media	Desv. est.	Mín.	Máx.	Curtosis
TC	Costes totales (€ constantes de 2001)	PdE	17.463.883	12.749.350	1.765.523	67.887.624	0,73
W_L	Precio del trabajo (€ constantes de 2001)	PdE	29.107	9.698	2.277	132.921	0,33
W_K	Precio del capital (porcentaje)	PdE, INE y SEOPAN	5.349	2.130	1.492	18.758	0,40
W_{ci}	Precio de consumos intermedios (€, cientos, ctes. de 2001 por Tn)	PdE	0,334	0,195	0,040	1,248	0,58
Q_{cont}	Mercancía general contenerizada (Tn)	PdE	1.849.021	4.527.223	0	35.391.361	2,45
Q_{ncont}	Mercancía general no contenerizada (Tn)	PdE	1.269.832	1.297.778	61.067	7.325.187	1,02
Q_{pas}	Pasajeros (número)	PdE	578.533	1.106.493	0	5.060.090	1,91
Q_{sol}	Graneles sólidos (Tn)	PdE	2.871.904	3.062.345	5.685	19.658.167	1,07
Q_{li}	Graneles líquidos (Tn)	PdE	4.549.077	5.663.902	0	22.772.847	1,25
SU	Superficie de depósito (metros cuadrados)	PdE	516.580	599.368	11.354	3.106.615	1,16

(*) PdE = Puertos del Estado; INE = Instituto Nacional de Estadística; SEOPAN = Confederación Nacional de la Construcción.

Fuente: Elaboración propia.

guiente expresión: $W_K = ICNC(R + d)$. Este método de cálculo está basado en el procedimiento utilizado por la OCDE (2001) para medir el precio del capital a nivel macroeconómico, que a su vez está basado en el método de inventario perpetuo, desarrollado por Jorgenson y Griliches (1967). Por su parte, el precio de los consumos intermedios (W_{CI}) se define como el cociente entre el gasto en consumos intermedios y la provisión total de agua, energía y electricidad suministrada por la autoridad portuaria.

Por lo que respecta a los *outputs* relativos a las autoridades portuarias, se han identificado cinco tipos de movimientos. Aquellos relacionados con la mercancía general contenerizada (Q_{cont}), mercancía general no contenerizada (Q_{ncont}), pasajeros (Q_{pas}), graneles sólidos (Q_{so}) y graneles líquidos (Q_{li}). Por último, se ha identificado en la estructura tecnológica de las autoridades portuarias la existencia de un factor cuasi fijo, aproximado por la superficie de depósito disponible para el almacenaje de las mercancías (F).

En el cuadro n.º 2 se muestran los principales estadísticos descriptivos de las variables anteriormente descritas.

V. RESULTADOS

1. Estimación de la función frontera de costes

A partir de la especificación econométrica enunciada anteriormente, se ha procedido a estimar la función frontera de costes mediante el método de máxima verosimilitud (ver cuadro n.º 3). Se ha demostrado que la función frontera de costes estimada cumple las propiedades teóricas: es una función no decreciente y cóncava respecto a los precios de los factores productivos, no decreciente respecto a los *outputs*, y es una función homogénea de grado uno respecto a los precios de los factores productivos. Por otra parte, los coeficientes de primer orden del cuadro n.º 3 pueden interpretarse como elasticidades evaluadas en la media de los datos, dado que cada una de las variables se ha dividido por sus respectivas medias geométricas. Así, se observa cómo la elasticidad coste-producto más importante corresponde a la mercancía general no contenerizada (0,16), seguida de los graneles líquidos (0,029) y de la mercancía general contenerizada (0,027). Estos resultados son coherentes con los encontrados en estudios anteriores (Núñez-Sánchez *et al.*, 2011) en los que se señala la mercancía ge-

neral no contenerizada como el tipo de tráfico con un mayor coste para las infraestructuras portuarias.

Dado que la inversa de la suma de todas las elasticidades coste-producto es mayor que la unidad, se puede concluir que las autoridades portuarias presentan economías de densidad (De Rus *et al.*, 2003; Núñez-Sánchez *et al.*, 2011).

En cuanto a los coeficientes de primer orden asociados a los precios de los factores productivos, a partir del lema de Shephard, se pueden interpretar como la proporción del gasto de cada uno de ellos sobre el coste total. De esta forma, el trabajo sería el factor productivo con un mayor gasto (40 por 100), seguido del capital (39 por 100) y de los consumos intermedios (21 por 100). Por lo que respecta al coeficiente asociado al *input* cuasi fijo, se observa que es positivo y estadísticamente significativo, lo que demuestra que la productividad marginal de la superficie de depósito en la media de los datos es negativa. Este resultado va en la línea de otros trabajos relacionados con la industria portuaria. Así, Rodríguez-Álvarez *et al.* (2007) obtienen un resultado similar al estimar una función distancia orientada a los *inputs* para operadores portuarios en el puerto de Las Palmas. Dichos autores señalan como posibles factores explicativos la naturaleza indivisible de la inversión en dicho factor cuasi fijo, dado que no es posible aumentar la capacidad de depósito de una forma continua. Por su parte, Baños-Pino *et al.* (1999) calculan la desviación entre la cantidad de factor cuasi fijo óptimo, en el caso de que las autoridades españolas fueran eficientes en la asignación, y la cantidad de factor cuasi fijo utilizado en el corto plazo. Los resultados obtenidos muestran que durante el período 1985-1997 los puertos españoles fueron ineficientes en la asignación, con una cantidad de *input* cuasi fijo mucho mayor que la óptima.

El coeficiente asociado a la tendencia señala que, en promedio, durante el período 1986-2005, las autoridades portuarias presentaron un proceso de cambio tecnológico, de forma que la introducción de nuevos sistemas o procesos innovadores en la tecnología de gestión portuaria permitieron reducir los costes anuales en un 0,009 por 100. Por su parte, los coeficientes de segundo orden asociados a la tendencia señalan que dicho proceso va perdiendo importancia a lo largo del período analizado, y que los graneles líquidos y la mercancía general no contenerizada son las mercancías más susceptibles de incorporar dicho progreso tecnológico. Además, la existencia de cambio tecnológico

CUADRO N.º 3

ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN FRONTERA DE COSTES

Variable	Coefficiente	t-ratio	Variable	Coefficiente	t-ratio
Constante	-0,00546	(-0,04)	$L(Q_{CONT})L(F)$	-0,00616	(-0,97)
$L(W_L)$	0,404 (***)	(17,84)	$L(Q_{NCONT})L(Q_{PAS})$	0,00662 (*)	(2,04)
$L(W_K)$	0,385 (***)	(19,67)	$L(Q_{NCONT})L(F)$	0,0473	(1,63)
$L(W_{CI})$	0,211 (***)	(13,87)	$L(Q_{PAS})L(F)$	-0,00726	(-1,51)
$L(Q_{LI})$	0,0289 (*)	(2,36)	$L(W_L)L(Q_{SOL})$	0,00826	(0,60)
$L(Q_{SOL})$	0,0251	(0,96)	$L(W_L)L(Q_{LI})$	0,0114	(1,41)
$L(Q_{CONT})$	0,0267 (**)	(2,94)	$L(W_L)L(Q_{CONT})$	0,00325	(0,88)
$L(Q_{NCONT})$	0,157 (***)	(6,21)	$L(W_L)L(Q_{NCONT})$	0,0330	(1,55)
$L(Q_{PAS})$	0,00183	(0,31)	$L(W_L)L(Q_{PAS})$	0,00816 (**)	(2,70)
$L(F)$	0,140 (***)	(4,49)	$L(W_L)L(F)$	-0,0867 (***)	(-4,10)
$L(W_L)L(W_L)$	0,247 (***)	(6,90)	$L(W_K)L(Q_{SOL})$	-0,01474	(-1,16)
$L(W_K)L(W_K)$	0,382 (***)	(11,36)	$L(W_K)L(Q_{LI})$	-0,0267 (**)	(-3,87)
$L(W_{CI})L(W_{CI})$	0,0196	(1,12)	$L(W_K)L(Q_{CONT})$	-0,0033	(-0,86)
$L(W_L)L(W_K)$	-0,304 (***)	(-9,41)	$L(W_K)L(Q_{NCONT})$	-0,046 (*)	(-2,06)
$L(W_K)L(W_{CI})$	-0,077 (***)	(-4,76)	$L(W_K)L(Q_{PAS})$	-0,00072	(-0,25)
$L(W_L)L(W_{CI})$	0,0575 (**)	(3,12)	$L(W_K)L(F)$	0,0909 (***)	(4,43)
$L(Q_{SOL})L(Q_{SOL})$	-0,00729	(-0,46)	$L(W_{CI})L(Q_{SOL})$	0,00649	(0,57)
$L(Q_{LI})L(Q_{LI})$	-0,00603 (*)	(-2,26)	$L(W_{CI})L(Q_{LI})$	0,0154 (*)	(2,21)
$L(Q_{CONT})L(Q_{CONT})$	0,00400 (*)	(2,42)	$L(W_{CI})L(Q_{CONT})$	0,000137	(0,04)
$L(Q_{NCONT})L(Q_{NCONT})$	0,0600 (*)	(2,17)	$L(W_{CI})L(Q_{NCONT})$	0,0130	(0,80)
$L(Q_{PAS})L(Q_{PAS})$	-0,000313	(-0,20)	$L(W_{CI})L(Q_{PAS})$	-0,0074 (**)	(-2,78)
$L(F)L(F)$	-0,0223	(-0,67)	$L(W_{CI})L(F)$	-0,00423	(-0,24)
$L(Q_{SOL})L(Q_{LI})$	0,0211 (**)	(2,59)	t	-0,00876 (*)	(-2,77)
$L(Q_{SOL})L(Q_{CONT})$	0,00416	(0,88)	tt	0,0022 (***)	(7,36)
$L(Q_{SOL})L(Q_{NCONT})$	-0,0328	(-1,68)	$tL(W_L)$	0,000546	(0,12)
$L(Q_{SOL})L(Q_{PAS})$	-0,00873 (**)	(-2,90)	$tL(W_K)$	0,0052708	(1,34)
$L(Q_{SOL})L(F)$	0,0173	(0,76)	$tL(W_{CI})$	-0,0058 (***)	(-3,33)
$L(Q_{LI})L(Q_{CONT})$	0,00211	(1,75)	$tL(Q_{SOL})$	0,0068 (***)	(3,86)
$L(Q_{LI})L(Q_{NCONT})$	-0,0240 (**)	(-3,19)	$tL(Q_{LI})$	-0,0037 (***)	(-3,78)
$L(Q_{LI})L(Q_{PAS})$	0,00664 (***)	(4,50)	$tL(Q_{CONT})$	0,000396	(0,86)
$L(Q_{LI})L(F)$	0,0173 (*)	(1,97)	$tL(Q_{NCONT})$	-0,00475	(-1,94)
$L(Q_{CONT})L(Q_{NCONT})$	0,00131	(0,31)	$tL(Q_{PAS})$	0,0024 (***)	(6,57)
$L(Q_{CONT})L(Q_{PAS})$	-0,000919	(-1,81)	$tL(F)$	-0,0092 (***)	(-3,39)
$Ln(L)$	325,017		σ_u	0,1071097	
Test Wald Chi2(79)	20,875,32		σ_e	0,0743561	
Prob>Chi2	0,000		Dummies autoridades portuarias incluidas		
N	520				

Nota: Estadístico t entre paréntesis; (*) p < 0,05; (**) p < 0,01; (***) p < 0,001.

ha permitido que la demanda de consumos intermedios haya disminuido.

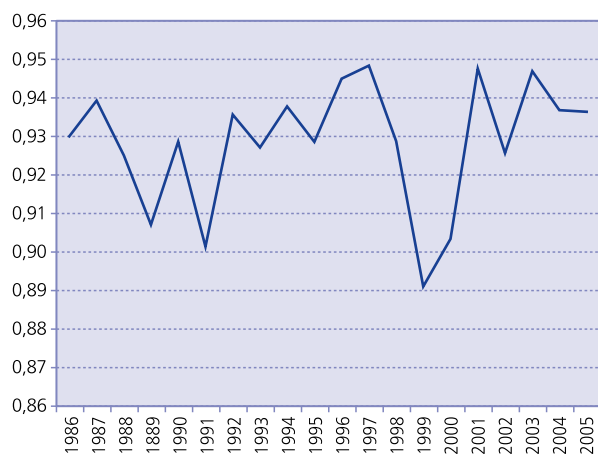
2. Estimación de la eficiencia económica

Tal y como se señaló en apartados anteriores, la estimación de una frontera de costes permite obtener un índice de eficiencia económica que toma valores entre cero y uno. De esta manera, aquellas autoridades portuarias económicamente eficientes, que logran minimizar sus costes productivos, obtendrían valores iguales a uno. En el gráfico 1 se puede observar la evolución del promedio de la efi-

ciencia económica para el conjunto de autoridades portuarias.

Durante el período 1986-2005, las autoridades portuarias presentan un nivel de eficiencia económica relativa elevado (0,93) y estable, dado que su nivel de variabilidad ha sido muy pequeño. Así, el valor máximo se dio en 1997 (0,948), mientras que el mínimo de la eficiencia económica se produjo en 1999 (0,89). Hay que señalar que esta disminución coincide con la entrada en vigor de la reforma portuaria de 1997, donde las comunidades autónomas entran a formar parte de los consejos de administración de las autoridades portuarias. También hay que destacar

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DE LA EFICIENCIA ECONÓMICA
DE LAS AUTORIDADES PORTUARIAS (1986-2005)



que, a partir del año 2000, los valores se recuperan y se sitúan en niveles anteriores a dicha reforma.

En el Anexo 1 se puede observar cómo la evolución de la eficiencia técnica por autoridades portuarias no es homogénea.

3. Análisis del cambio tecnológico por autoridades portuarias

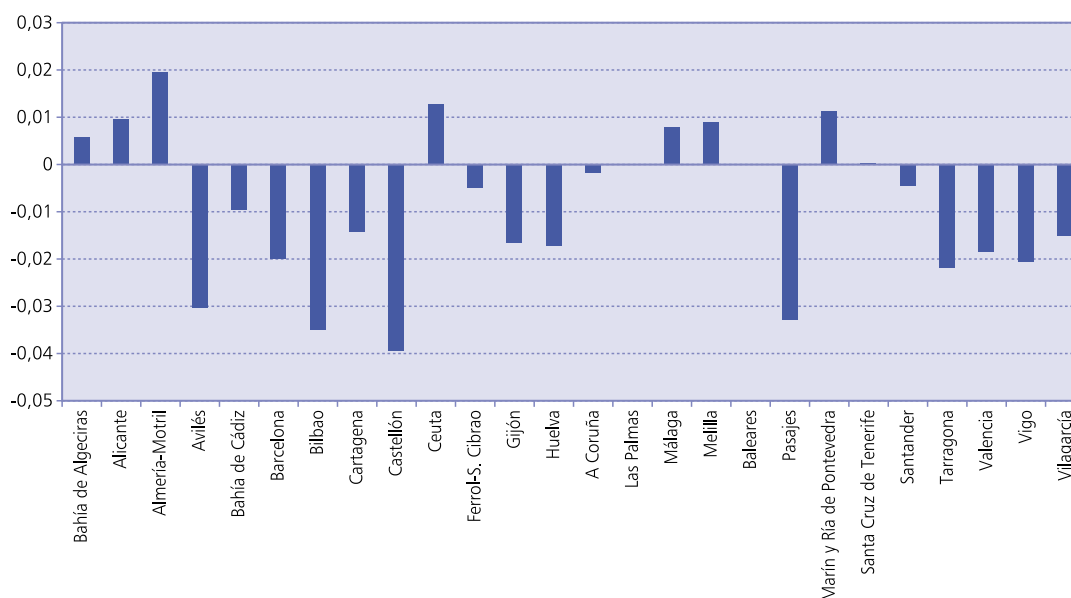
El cambio tecnológico para cada una de las autoridades portuarias se presenta en el gráfico 2. Para interpretar el gráfico reuniremos los puertos por las fachadas marítimas habituales: fachada norte (Pasajes, Bilbao, Santander, Gijón y Avilés), fachada gallega (A Coruña, Marín y Ría de Pontevedra, Vilagarcía, Ferrol-San Cibrao y Vigo), fachada suratlántica (Huelva y Bahía de Cádiz), fachada surmediterránea (Málaga, Bahía de Algeciras, Almería-Motril, Cartagena, Ceuta y Melilla), fachada de Levante (Valencia, Castellón y Alicante), fachada de Cataluña (Barcelona, Tarragona), fachada Baleares (Las Palmas) y fachada Canarias (Santa Cruz de Tenerife). El cambio tecnológico por cada una de las fachadas portuarias es positivo en las fachadas norte, gallega, suratlántica, catalana y levantina; mientras que es negativo en la fachada sur-mediterránea, y nulo, en promedio, en Baleares y Canarias.

VI. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del análisis realizado en las líneas precedentes se ofrecen a continuación.

Las elasticidades coste-producto más altas corresponden a la mercancía general no contenerizada

GRÁFICO 2
CAMBIO TECNOLÓGICO EN PROMEDIO DE LAS AUTORIDADES PORTUARIAS (1986-2005)



(0,16), seguida de los graneles sólidos (0,029) y de la mercancía general contenerizada (0,027).

La inversa de la suma de todas las elasticidades coste-producto es mayor que la unidad, por lo cual se puede garantizar la existencia de economías de densidad en el sistema portuario español.

El factor productivo que presenta mayor proporción del gasto en el sistema portuario es el trabajo con un 40 por 100, seguido del capital con un 39 por 100 y de los consumos intermedios con un 21 por 100.

El sistema portuario español presenta un cambio tecnológico ligeramente positivo, de modo tal, que la introducción de nuevos sistemas o procesos innovadores ha permitido en conjunto reducir los costes anuales (0,009 por 100). El cambio tecnológico por cada una de las fachadas portuarias es positivo en las fachadas norte, gallega, sur-atlántica, catalana y levantina; negativo en la fachada sur-mediterránea, y nulo en Baleares y Canarias.

La eficiencia económica relativa al conjunto de las autoridades portuarias para el período de análisis ha sido estable y alta (0,93). La eficiencia económica alcanza su valor máximo en el año 1997 y su mínimo en el año 1999, curiosamente cuando mayor autonomía se concede a las autoridades portuarias. No obstante, la evolución de la eficiencia económica relativa correspondiente a cada una de las autoridades portuarias es heterogénea.

NOTAS

(*) Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación Proyecto PSE-370000-2009-11. Agradecemos los comentarios y sugerencias realizadas por la editora de la revista.

(1) Para más detalles acerca de la estimación econométrica de funciones frontera de costes, consultar el manual de COELLI *et al.* (2005).

(2) Se excluye la autoridad portuaria de Sevilla al ser un puerto fluvial. Este hecho hace que su tecnología sea distinta en relación al resto de autoridades portuarias, lo que podría sesgar los resultados del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- AIGNER, D. J.; C. A. K. LOVELL, y P. SCHMIDT (1977), «Formulation and estimation of stochastic frontier production function models», *Journal of Econometrics*, 6: 21-37.
- AVERCH, H., y L. JOHNSON (1962), «The behaviour of the firm under regulatory constraint», *American Economic Review*, 52: 1052-1069.
- BAÑOS-PINO, J.; P. COTO-MILLÁN, y A. RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ (1999), «Allocative efficiency and over-capitalization: an application», *International Journal of Transport Economics*, 26(2): 181-199.

CHANG, S. (1978), «Production function and capacity utilization of the port of mobile», *Maritime Policy and Management*, 5: 297-305.

COELLI, T.; D. S. PRASADA; C. J. O'DONNELL, y G. E. BATTESSE (2005), *An Introduction To Efficiency and Productivity Analysis*, Springer, Nueva York.

COTO-MILLÁN, P. (2010), «Mecanismos de regulación en infraestructuras: una aplicación a los puertos españoles», mimeo.

COTO-MILLÁN, P.; J. BAÑOS-PINO, y A. RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ (2000), «Economic efficiency in Spanish ports: Some empirical evidence», *Maritime Policy and Management*, 2(2): 169-174.

CULLINANE, K.; D. W. SONG, y R. GRAY (2002), «A stochastic frontier model of the efficiency of mayor container terminals in Asia: Assessing the influence of administrative and ownership structures», *Transportation Research A*, 36: 743-762.

CULLINANE, K.; T. F. WANG; D. W. SONG, y P. JI (2006), «The technical efficiency of container ports: Comparing data development analysis and stochastic frontier analysis», *Transportation Research A*, 40: 354-374.

DE RUS, G.; J. CAMPOS, y G. NOMBELA (2003), *Economía del Transporte*, Antoni Bosch, Barcelona.

DÍAZ-HERNÁNDEZ, J. J.; E. MARTÍNEZ-BUDRÍA, y S. JARA-DÍAZ (2008), «Parametric estimation of inefficiency in cargo handling in Spanish ports», *Journal of Productivity Analysis*, 30(3): 223-232.

GONZÁLEZ, M. M., y L. TRUJILLO (2009), «Efficiency measurement in the port industry: A survey of the empirical evidence», *Journal of Transport Economics and Policy*, 43(2): 157-192.

HIDALGO, S. (2011), *Incertidumbre en la demanda, exceso de capacidad y eficiencia asignativa: una aplicación a las autoridades portuarias españolas en el período 1986-2007*, tesina Máster en Economía no publicada, Universidad de Cantabria, Santander.

JARA-DÍAZ, S.; C. CORTES; A. VARGAS, y E. MARTÍNEZ-BUDRÍA (1997), «Marginal Costs and Scale Economies in Spanish ports», 25th European Transport Forum, Proceedings Seminar L, PTRC, Londres: 137-147.

JARA-DÍAZ, S.; E. MARTÍNEZ-BUDRÍA; C. CORTES, y L. BASSO (2002), «A multi-output cost function for the services of Spanish ports infrastructure», *Transportation*, 29(4): 415-437.

JORGENSEN, D. W., y Z. GRILICHES (1967), «The explanation of productivity change», *Review of Economic Studies*, 34: 249-283.

KIM, M., y A. SACHIS (1986), «The structure of production, technical change and productivity in a port», *Journal of Industrial Economics*, 35(2): 209-223.

MARTÍNEZ-BUDRÍA, E. (1996), «Un estudio econométrico de los costes del sistema portuario español», *Revista Asturiana de Economía*, 5: 135-149.

MARTÍNEZ-BUDRÍA, E.; R. GONZÁLEZ-MARRERO, y J. J. DÍAZ-HERNÁNDEZ (1998), «Análisis económico de las sociedades estatales de estiba y desestiba en España», documento de trabajo 97/98-1, Universidad de La Laguna.

NÚÑEZ-SÁNCHEZ, R., y P. COTO-MILLÁN (2010), «The impact of public reforms on the productivity of the Spanish ports: A parametric distance function approach», Fundación de las Cajas de Ahorros, documento de trabajo n.º 513/2010.

NUÑEZ-SÁNCHEZ, R.; S. JARA-DÍAZ, y P. COTO-MILLÁN (2011), «Public regulation and passengers importance in port infrastructure costs», *Transportation Research A*, 45(7): 653-666.

OECD (2001), *Measuring capital OECD manual: measurement of capital stocks, consumption of fixed capital and capital services*, Organization for Economic Cooperation and Development, París.

PUERTOS DEL ESTADO (varios años), *Informe de Gestión del Sistema Portuario de Titularidad Estatal*, Madrid.

— (varios años), *Anuario Estadístico*, Madrid.

REKRES, R. A.; D. CONNELL, y D. I. ROSS (1990), «The development of a production function for a container terminal in the port of Melbourne», *Papers of the Australian Transport Research Forum*, 15: 205-218.

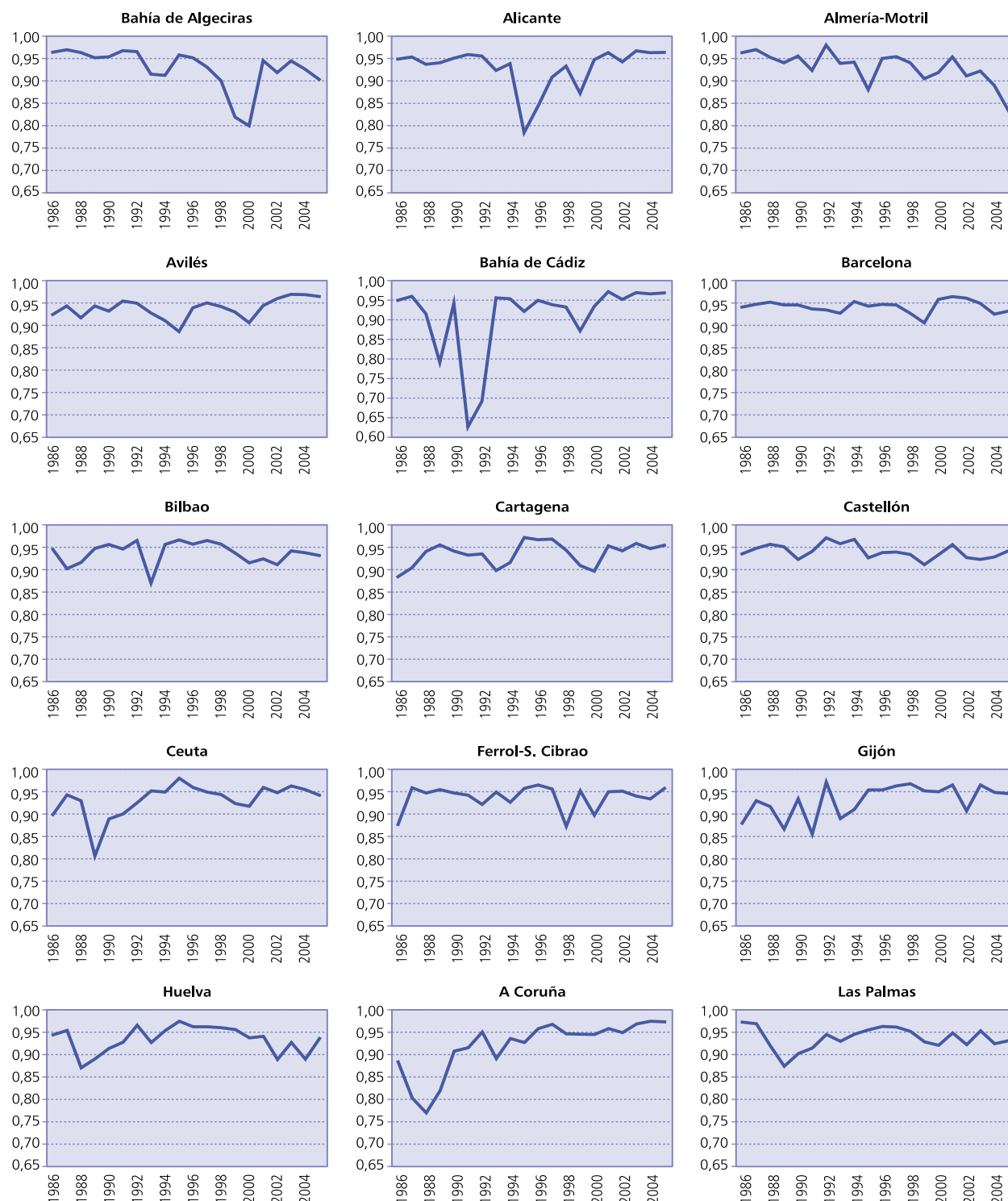
RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, A.; B. TOVAR, y L. TRUJILLO (2007), «Firm and time varying technical and allocative efficiency: an application to port cargo handling firms», *International Journal of Production Economics*, 109: 149-161.

TONGZON, J. L. (1993), «The Port of Melbourne Authority's pricing policy: its efficiency and distribution implications», *Maritime Policy and Management*, 20(3): 197-203.

TOVAR, B. (2002), *Análisis multiproductivo de los costes de manipulación de mercancías en terminales portuarias. El Puerto de La Luz y de Las Palmas*, tesis doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

ANEXO 1

EFICIENCIA ECONÓMICA DE LAS AUTORIDADES PORTUARIAS (1986-2005)



ANEXO 1 (continuación)

EFICIENCIA ECONÓMICA DE LAS AUTORIDADES PORTUARIAS (1986-2005)

